

# ACTUALIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA CICLOPE PARA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Isabel Joaquina Niembro-García

Sheoane García Rangel

Carlos Sierra Garriaga

María Margarita González Benítez

*Universidad Politécnica de Cataluña*

## Abstract

The Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental management tool that considers the environmental burdens of a system product. The complexity of the process requires support for the overcoming difficulties arising from the handling of data and facilitate the results analysis.

The development of the computational tool CICLOPE, created in 1997, has been an evolving work ever since. CICLOPE development has kept pace with the needs of environmental projects where it has been used, always following the ISO guidelines for LCA. Arose to meet the need of software to compare real data of life cycles stages, databases and energy models. Subsequently it has been adapted to the waste management and transportation models, using to use the Distance-to-Target approach of the Eco-indicator 95.

CICLOPE v 3.0 today is an updated tool that uses to determining impact model, the Eco-indicator 99 Damage Model; it applies the Hierarchist vision of Cultural Theory with a better use of the uncertainty. But it also intends to be an integrated tool that emphasizes on specific impact categories (Land-use and Resources) and includes new categories like Noise and Energy and Exergy efficiency.

CICLOPE is still evolving and will continue to provide a customized service of the LCA studies.

**Keywords:** *LCA, software, CICLOPE*

## Resumen

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que considera las cargas ambientales de un sistema producto. La complejidad del proceso requiere apoyo informático para salvar las dificultades derivadas del manejo de datos y facilitar el análisis de resultados.

El desarrollo de la herramienta informática CICLOPE ha sido continuo e inició 1997. La evolución de CICLOPE ha ido a la par de las necesidades de los proyectos medioambientales a los que ha auxiliado, siempre siguiendo las pautas ISO para ACV. Surgió para responder a la necesidad de un software que permitiera comparar tanto datos reales de las etapas del ciclo de vida como bases de datos y modelos energéticos. Posteriormente integró modelos de gestión de residuos y transportes y utilizó el modelo de Distancia al Objetivo del Ecoindicador 95.

Hoy, CICLOPE v 3.0 es una herramienta actualizada utiliza el modelo de Análisis de Daños del Ecoindicador 99, aplica la visión Jerárquica de la Teoría Cultural. Pretende ser una herramienta integral que enfatiza categorías específicas (Uso de la tierra y Recursos) e

incluye nuevas categorías tales como Ruido, Eficiencia Energética y Exergética. CICLOPE sigue en evolución y continuará prestando un servicio “personalizado” a los estudios de ACV.

**Palabras clave:** ACV, software, CICLOPE

## 1. Introducción

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que ha sido desarrollada para poder visualizar un producto con perspectiva de sistema. El ACV es una herramienta objetiva para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. Se lleva a cabo mediante:

- Identificación y cuantificación de la energía, los materiales utilizados y las corrientes residuales de todo tipo, vertidas al medio ambiente,
- Calificación los impactos de este uso de la energía, materiales y vertidos,
- Evaluación de los impactos potenciales e implementación de las mejoras ambientales oportunas.

El ACV analiza el ciclo de vida completo de un producto o servicio. Desde la extracción de las materias primas, su manufactura, su transporte y distribución, su uso, reutilización, mantenimiento, reciclado y disposición final. Una definición común de ACV es: análisis de “cuna” a “tumba”.

Las normas ISO 14040 y 14044 son normas de gestión ambiental específicas en el ámbito de los ACV. La Figura 1, muestra el marco de referencia de un ACV de acuerdo a la norma ISO 14040.

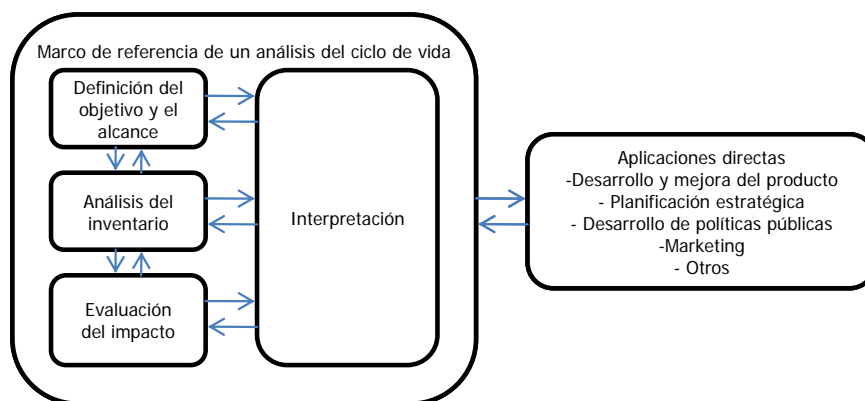


Figura 1 Marco de referencia de un ACV, de norma ISO 14040

Las normas indican que: los objetivos y el alcance de un ACV, incluyendo los límites de sistema y el nivel de detalle, dependen del tema y del uso previsto del estudio. En la fase de Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) se realiza un inventario de los datos de entrada y salida del sistema bajo estudio. La fase de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV) tiene por objetivo proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del ICV de un sistema a fin de comprender mejor su importancia ambiental. La fase de Interpretación de Ciclo de Vida es la fase final del procedimiento de un ACV, en ella se resumen y discuten los resultados de ICV y/o EICV como base para las conclusiones, recomendación y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y el alcance definidos (ISO, 2006).

Hoy en día, todos, tanto los individuos, como los responsables de las empresas y entidades gubernamentales, tienen la oportunidad de definir sus preferencias de consumo de manera informada. Los enfoques de ciclo de vida forman parte del proceso de identificar y aprovechar esa oportunidad. Adoptar un enfoque de ciclo de vida significa reconocer la manera en que las decisiones tomadas influyen en cada etapa de un proceso y así sopesar las ventajas y desventajas globales, contribuyendo a la economía, el medio ambiente y la sociedad (PNUMA, 2004).

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Proyectos (GIIP) del Departamento de Proyectos de Ingeniería (DPE) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la UPC, reconoce que en el camino hacia la sostenibilidad, uno de los retos es el diseño eficiente y rentable de los sistemas, que además reúnan las condiciones medioambientales aceptadas por la sociedad y establecidas legalmente. Es por ello que desde 1992 adoptó un enfoque de ciclo de vida y trabaja en el desarrollo y aplicación de la metodología de ACV.

En 1997, se inició el desarrollo de la herramienta CICLOPE. CICLOPE es un programa informático que responde a la necesidad de comparar tanto datos reales de las etapas del ciclo de vida de un sistema producto como bases de datos y modelos energéticos. La evolución de CICLOPE ha ido a la par de las necesidades de los proyectos medioambientales a los que ha auxiliado, siempre siguiendo las pautas ISO para ACV.

Reconociendo la experiencia del GIIP, la fundación CEQUIP que agrupa a fabricantes de bienes de equipo, le invitó a colaborar en el proyecto “Desempeño Ambiental de Bienes de Equipo”. Gracias al apoyo financiero del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña, el proyecto se ha puesto en marcha en el 2009. Una fase fundamental del proyecto es la actualización v.3.0 de CICLOPE y su adecuación a los requerimientos de los bienes de equipo.

## **2. CICLOPE v 1.0 y v 2.0**

CICLOPE incorpora desde su versión v 1.0:

- Un modelo energético para el cálculo de las repercusiones ambientales derivadas de los consumos de energía térmica y/o eléctrica, en los distintos procesos productivos y de consumo,
- Un sistema de valoración del Ecoperfil, mediante la aproximación de los volúmenes críticos,
- Un modelo de residuos

CICLOPE v 2.0 se ha desarrollado partiendo de un proyecto anterior del GIIP: “Diseño y desarrollo de un soporte informático para la realización del análisis del ciclo de vida de productos” que desarrollaba una primera versión del programa (v 1.0) y que se presentó en el 5º Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (González, 2000).

CICLOPE v 2.0 inició como la ampliación de CICLOPE v 1.0. La idea original fue la de anexarle un módulo de cálculo de Eco-indicador, un módulo de cálculo de depuración de Aguas Residuales y un módulo de Entrada Gráfica de Datos. Una vez incorporados los dos primeros módulos señalados se hizo patente la necesidad de reescribir el resto del programa. Así pues, en vez de afirmar que la versión v 2.0 es una mejora de la v 1.0, sería más fiel a la realidad decir que la v 2.0 aprovecha el concepto de la v 1.0, se utiliza una parte de su código y se reestructura el programa informático.

A diferencia de otras herramientas ya existentes, CICLOPE está concebido como una herramienta modular y abierta, que permite evaluar los impactos asociados a los procesos

productivos, al consumo de energía, al tratamiento de residuos, al uso y a los transportes del ciclo de vida, en diferentes escenarios.

El uso de CICLOPE es especialmente adecuado para:

- Ayudar a la toma de decisiones en la fase de diseño, ya que permite comparar los efectos ambientales asociados a las alternativas estudiadas mediante la comparación de los indicadores ambientales correspondientes,
- Evaluar los impactos sobre el medio ambiente del sistema de producción,
- Ordenar las actuaciones en mejora de procesos, priorizando aquellas que correspondan a los procesos y transportes para los que se ha obtenido un peor índice ambiental,
- Facilitar la selección de proveedores de materias primas. La comparación de los indicadores asociados a cada una de las posibles fuentes de materia prima permite seleccionar los proveedores cuyas materias primas llevan asociadas un menor impacto ambiental.

CICLOPE ha sido pensado y desarrollado para su empleo como herramienta de diseño y rediseño de procesos y sistemas, especialmente para uso por los productores, incorporando criterios ambientales, no solo de los propios procesos productivos, si no también de proveedores, gestores, etc, lo que facilita la selección de aquellos que mejor contribuyan a un menor impacto negativo global.

La estructura del programa se puede dividir en tres partes:

1. Entrada de los datos del Ciclo de Vida: se define el ciclo de vida como un conjunto de procesos, transportes y flujos de materiales entre ambos (vínculos),
2. Procesado de los datos: el conjunto de procesos, transportes y vínculos se procesa recalculando las cantidades de materiales transferida en los flujos de material. A continuación se calculan los vectores ambientales (emisiones, generación de residuos, etc.),
3. Muestra de los resultados: a partir de los vectores ambientales se calculan los indicadores ambientales. Se muestra al usuario informes y gráficos con información de los vectores ambientales, consumos del proceso e indicadores ambientales.

CICLOPE v 2.0 mejoró la aplicación de la herramienta ACV. El programa es de fácil uso, flexible con el tipo de ciclo a calcular, incorpora características que lo hacen útil en la toma de decisiones, es actualizable, y permite exportar la información obtenida a un soporte informático, para posibilitar un posterior uso de los datos y de los resultados.

CICLOPE v 2.0 se desarrolló para ayudar al usuario, especialmente, en las etapas de construcción del ciclo, introducción de datos de inventario y en la de evaluación de impactos, ya que permite, de forma fácil, evaluar los impactos asociados a los procesos y transportes del ciclo de vida estudiado, presentando dos indicadores que valoran estos impactos: el Ecoindicador 95 y el Ecoperfil (según la aproximación de los volúmenes críticos).

### **3. CICLOPE v 3.0**

El GIIP tenía planeada la actualización de CICLOPE desde el año 2008, gracias al Proyecto de Desempeño Ambiental de Bienes de Equipo, ésta ha sido factible. CICLOPE continúa siendo una herramienta flexible y abierta. Las nuevas prestaciones de CICLOPE v 3.0 incluyen entre otras: el nuevo concepto del modelo de daños del Ecoindicador 99, la inclusión de la categoría Ruido -enfocada a la industria y enfatizando el ruido de la maquinaria industrial- y los resultados del Análisis Exergético que permiten estimar la eficiencia energética del sistema producto y la calidad de la energía utilizada.

### 3.1 Ecoindicador 99

Los Ecoindicadores son números que expresan el impacto ambiental total de un sistema producto; cuando más grande es el indicador, mayor es el impacto ambiental. Se calculan con la introducción de coeficientes de ponderación para cada proceso y material. Su aplicación en los ACV arroja un valor representativo del impacto ambiental asociado al sistema en estudio (Goedkoop, 2001). El Ecoindicador 95 fue criticado por considerar un reducido número de impactos, no establecer de manera clara los parámetros del modelo de distancia del objetivo (su fundamento) y por limitar sus referencias unos cuantos países europeos. Como respuesta a estas críticas surge en el año 1999 el Eco-indicador 99, el cual a su vez sufre una actualización en el año 2001. El Ecoindicador 99 introduce todo un nuevo concepto para el modelo de daños, contempla valores representativos para toda Europa, hace un manejo más claro de las incertidumbres, e introduce la Teoría Cultural con la intención de “proporcionar un carácter científico a los juicios de valor” (Thompson, 1990).

El Ecoindicador 99 introduce modelos de daños diferentes para cada categoría de impacto evaluada, lo que permite una mejor caracterización de los impactos asociados. Los modelos utilizados son:

- Efectos Carcinogénicos y de Ecotoxicidad: Se modelan con la herramienta EUSES,
- Efectos Respiratorios: Se utilizan modelos de deposición atmosférica, y observaciones empíricas,
- Efectos de Cambio Climático y Disminución de la capa de Ozono: Se emplean modelos de Suerte (Fate Models), que evalúan dispersión, y degradabilidad,
- Efectos por Acidificación y Eutrofización: Se emplea el modelo SMART,
- Efectos por Radiaciones Ionizantes: Se utilizan diferentes modelos dentro de diferentes partes del ciclo de combustible nuclear francés.

Las categorías de daños y de impacto se presentan en la Tabla 1. En el Ecoindicador 99 se reestructuran las categorías tanto de impacto como de daño, y busca contabilizar un mayor número de efectos, que arrojen indicadores más representativos de los daños ocasionados por el proceso.

Categorías de Daño	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos</li><li>• Salud Humana</li><li>• Ecosistema</li></ul>
Categorías de Impacto	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recursos minerales</li><li>• Fuentes Fósiles</li><li>• Uso de la tierra (ocupación y uso)</li><li>• Efectos Carcinogénicos</li><li>• Eco-toxicidad</li><li>• Efectos respiratorios</li><li>• Capa de Ozono</li><li>• Cambio climático</li><li>• Acidificación y eutrofización</li><li>• Radiación</li></ul>

Tabla 1. Categorías de daño e impacto del Ecoindicador 99.

Para mantener el carácter científico de la metodología, es importante reducir los juicios de valor que tienen lugar durante todo el procedimiento de obtención del Ecoindicador. Es por ello que se implementa la Teoría Cultural, en la que establecen 5 arquetipos de perspectivas, dentro de los cuales se enmarcan todos los seres humanos. CICLOPE considera específicamente el modelo Jerárquico de la teoría.

### 3.2 Ruido

El ruido se define como: “un sonido molesto e intempestivo que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos, no deseados en una persona o grupo” (Sanz, 1987). El concepto de ruido además supone diferentes factores a considerar, tales como (Rejano, 2000):

- Transmisión de energía,
- Intervienen tres elementos: Foco (fuente emisora), Medio (a través del cual se propaga la onda) y Receptor (ente sobre el cual se tiene un efecto),
- Es contaminante ya que perturba al ambiente que lo rodea,
- Carácter subjetivo de la sensación,
- Es causante de lesión,
- Un foco de ruido origina una transmisión aérea y otra estructural,
- Cada uno de estos factores condiciona el análisis, la medición y la interpretación de este fenómeno.

El ruido puede clasificarse en 2 clases de acuerdo al tipo de variación producida, y a la intensidad del mismo (UPC, 2000):

- Ruidos Continuos: Varían su intensidad permaneciendo en el tiempo, son típicos ejemplos de este tipo de ruido, los originados por maquinarias industriales, motores eléctricos o de explosión, entre otros,
- Ruidos de Impacto: Tienen un máximo en su intensidad muy alto, pero que luego decrece en un corto intervalo de tiempo, son ejemplos de estos los originados por armas de fuego, golpes de martillo, entre otros.

En la determinación del daño ocasionado por el ruido, es importante tener en cuenta el factor subjetivo de la sensación, y las características del sistema auditivo individual. La exposición a niveles de ruido elevados (superiores a 80 dB) por tiempos prologados origina molestias en el receptor y puede derivar en diferentes problemas de salud humana (Rejano, 2000):

- Efectos sobre el sistema nervioso: problemas de riego cerebral y coordinación del sistema nervioso central,
- Efectos sobre el sistema cardiovascular: alteraciones del ritmo cardíaco, aumento de la tensión, crea propensión a muertes por infarto de miocardio,
- Efectos sobre el aparato digestivo: alteraciones en las secreciones ácidas del estómago, y genera mayor incidencia de úlceras duodenales y trastornos gastrointestinales,
- Efectos en el equilibrio: náuseas, vómitos, vértigo y pérdidas de equilibrio.

Hasta ahora, diversos estudios se han centrado el estudio del problema generado por el ruido del tráfico rodado (Müller-Wenk, 1999; IMAGINE, 2007). Es reconocida la afectación de la salud humana consecuencia de la exposición al ruido ocasionados por la maquinaria industrial y por tanto imperativo el estudio del impacto del ruido en un ACV, como

herramienta para la toma de medidas preventivas y correctivas al respecto de este tipo de contaminación. Por ello se plantea la inclusión de la categoría de impacto Ruido para ACV.

Esta categoría permite la evaluación de la energía acústica emitida por el equipo en estudio, y la comparación de estos valores con los establecidos como adecuados en el Real Decreto (Real Decreto, 1989), siendo éste la transposición de la Directiva Europea (UE, 1986). Para la valoración de estas emisiones se considera además el valor medio de la energía fluctuante generada en un intervalo de tiempo (LAeq), esto porque se considera que el ruido “en un ambiente industrial no se presenta de forma continua, siendo las variaciones del nivel de presión sonora fluctuante, intermitente, impulsivo y aleatorio”. La comparación de estos valores permite la determinación de la calidad del ambiente en la fase de uso del equipo, y la toma de medidas correctoras que disminuyan los impactos ocasionados.

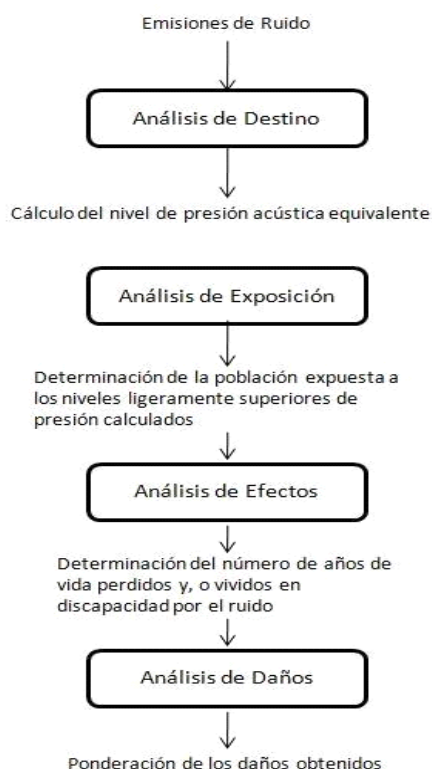


Figura 2 Esquema del modelo de ruido (Müller, 2004)

Para CICLOPE v 3.0 hemos tomado como referencia el modelo desarrollado por Benetto. Éste valora el efecto del ruido emitido por distintos medios de transporte, sobre la salud humana, a través de la utilización de funciones del tipo Crisp y Fuzzy (lógica difusa), que permiten caracterizar los daños asociados a las emisiones evaluadas. Nuestro planteamiento del modelo de valoración del impacto de ruido se basa en que la distribución de las frecuencias de las ondas sonoras producidas por el tráfico de vehículos, no es uniforme, por lo que se pueden emplear las funciones de daños asociadas a tráfico para estimar daños de producidos por cualquier otra fuente cuyas emisiones sean fluctuantes tal como lo describe Benetto (Benetto, 2006). Además nuestro modelo no considera la atenuación y propagación de las ondas, ya que las características de estos fenómenos varían considerablemente de acuerdo al entorno de evaluación, y al no limitarse el modelo a un único escenario, resulta de extrema complejidad establecer estos parámetros. La determinación de los DALY'S se hace mediante una adaptación del modelo genérico

utilizado por Müller para tráfico rodado, el modelo de daños se ilustra en la Figura 2 (Müller, 2004).

### 3.3 Nuevo modulo de eficiencia energética y exergética

El desarrollo económico de las sociedades está ligado al consumo energético. Las actividades de los sectores industria, servicios y transporte requieren del sistema de abastecimiento energético. El sistema energético debe garantizar un suministro regular de energía, basado en recursos más o menos abundantes que puedan obtenerse a costes asequibles, debe ser de fácil transporte y con calidad energética para poder ser aplicado con eficiencia. Los sistemas energéticos se seleccionan en función de la disponibilidad técnica y la viabilidad económica (IDEA, 2000). El ciclo de la energía: generación (captación, transformación, transporte), uso y degradación, provocan impactos sobre el medio ambiente, tanto en relación con el agotamiento del recurso como en la emisión de contaminantes y sus efectos secundarios.

El GIIP concienciado de la problemática derivada del ineficiente uso de la energía en los sistemas-producto, está desarrollando indicadores relacionados con energía y exergía para interpretar de forma más clara el estado de un sistema estudiado mediante la herramienta de ciclo de vida (Niembro, 2008).

En los procesos reales, la energía no es destruida, sino transformada en otras formas, cada vez menos aptas para realizar procesos reales. Es por eso que además de la energía, debe introducirse otra entidad física para caracterizar la calidad del tipo de energía en virtud de diversas consideraciones. La exergía es una propiedad que determina el potencial de trabajo útil de una cantidad de energía determinada en cierto estado especificado (Feidt, 1996). Dicho de otra manera la exergía cuantifica el trabajo potencial máximo de un sistema en relación con el ambiente. El análisis exergético permite evaluar la capacidad de producir trabajo que se pierde en cada proceso dentro de un sistema y con esta visión definir en que parte del sistema es más conveniente actuar para disminuir las pérdidas de exergía y así identificar las posibles mejoras del sistema, que permiten la optimización del proceso, y por ende, contribuir a la disminución del impacto ambiental.

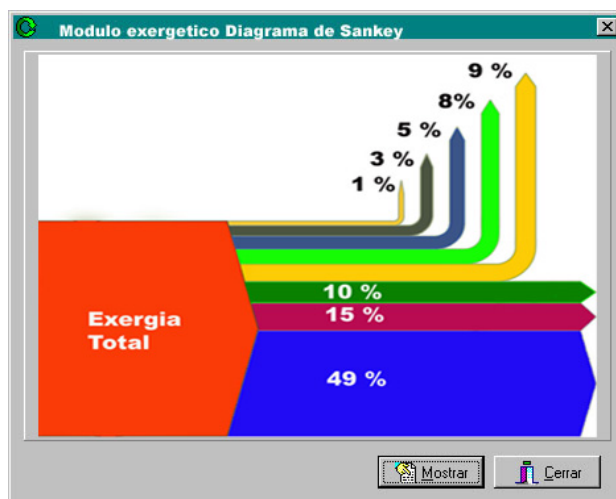


Figura 3 Ventana de visualización del diagrama de Sankey para la exergía.

CICLOPE v.3.0 incorpora un nuevo Módulo de Eficiencia Energética y Exergética. El módulo presenta los resultados de los cálculos de la eficiencia energética y análisis exergético del ciclo de vida del sistema producto en estudio. La representación de resultados en 100% gráfica pues genera diagramas de Sankey, tal como lo muestra la Figura 3; lo que facilita la



interpretación de eficiencia del sistema. Además el nuevo módulo está actualizado a los datos del Mix energético español del 2008.

#### **4. Conclusiones**

CICLOPE satisface las necesidades de los estudios de ACV desarrollados por el GIIP. Mediante su uso se evalúan los impactos potenciales sobre el medio ambiente de los consumos, procesos y transportes que componen el ciclo de vida en estudio.

CICLOPE es un programa informático modular, abierto, adaptable, con posibilidad de elegir tanto los modelos a utilizar (agua, energía y residuos), como los indicadores que mejor se adapten a los objetivos de los estudios.

Hoy CICLOPE v 3.0 una herramienta actualizada e integral, utiliza el modelo de Análisis de Daños del Ecoindicador 99. Incluye la categoría Ruido con la novedad de su aplicación al ruido de maquinaria industrial y no la clásica metodología enfocada a ruido de tráfico rodado. Además explota la riqueza del Análisis Exergético, que permite reconocer la eficiencia energética de los sistemas y la calidad de la energía utilizada.

#### **Referencias**

Benetto, E; Dujet, C; Rousseaux, P., Fuzzy-Sets Approach to Noise Impact Assessment. Ecomed publishers, 2006

Feidt M., Thermodynamique et optimisation des systèmes et procédés, Technique et documentation, France, 1996

Goedkoop, M, Spriensma, R., The Eco-indicator 99, Methodology Annex. Tercera Edición, 2001

González, M.M.; Mendoza, E.M.; Sierra, C.; Castillo, X. "Elaboración de un ACV mediante el uso de una herramienta informática. Cíclope". 5º Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Lleida, 2000IDEA, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica, Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica", Madrid, 2000

IMAGINE, The noise emission model for European road traffic. Deliverable 11 of the Imagine Project (disponible en <http://www.imagine-project.org>), 2007

ISO 14040 Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. Organización Internacional de Normalización, Ginebra, 2006

Müller-Wenk, R., Life-cycle impact assessment of road transport noise, IWÖ Universität St. Gallen, Switzerland, 1999

Müller-Wenk, R., A Method to Include in LCA Road Traffic Noise and its Health Effects. Ecomed publishers, 2004

Niembro-Garcia, I. J.; Gónzalez-Benítez, M. M., Energía y Exergía: Enfoques hacia la Sostenibilidad mediante el Análisis de Ciclo de Vida. Presentado al Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible, Fondo Documental, Comunicación técnica escrita, Temática: Cambio climático; Energía, Madrid, España. doi:[http://www.conama9.org/conama9/paginas/paginas\\_view.php?idpaginas=157&lang=es&menu=472&id=543&op=view&tipo=C](http://www.conama9.org/conama9/paginas/paginas_view.php?idpaginas=157&lang=es&menu=472&id=543&op=view&tipo=C) , 2008

PNUMA Iniciativa de Ciclo de Vida, ¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida?, Naciones Unidas, Canada, 2004

Real Decreto 1316/1989 27 de octubre. Sobre protección de los trabajadores frente a riesgos derivados de su exposición al ruido durante el trabajo. España, 1989

Rejano De La Rosa, M., Ruido Industrial y Urbano. Internacional Thomson. España, 2000

Sanz, J., El Ruido. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. España, 1987

Thompson, M, Ellis, R, Wildavsky, A., Cultural Theory, Westview Print, Boulder 1990

Unión Europea (UE), Parlamento Europeo Directiva 86/188 del 12 de mayo de 1986. Relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos debidos a la exposición al ruido durante el trabajo. 1986

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen el apoyo de las siguientes instituciones:

- España: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB), Departamento de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (DMAH), Generalitat de Cataluña.
- México: Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Campus Estado de México
- Venezuela: Universidad Simón Bolívar (USB). Coordinación de Ingeniería Química.

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Dra. María Margarita González Benítez

Universidad Politécnica de Cataluña. ETSEIB. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Edificio H, Piso 10

Diagonal 647, 08028, Barcelona (España)

Phone: +34 934 011610

Fax: + 34 934 011610

E-mail: maria.margarita.gonzalez@upc.edu

URL: <http://www.etsuib.upc.edu>